

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОСТАВА НЕЗАМЕНИМЫХ АМИНОКИСЛОТ В ОСНОВНОЙ ПРОДУКЦИИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

Д.В. Маркевич, Ю.В. Путятин, О.М. Таврыкина  
*Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь*

### ВВЕДЕНИЕ

Пищевая ценность зерна и продуктов его переработки определяется химическим составом, усвояемостью веществ, образующих их, и колеблется в зависимости от многих факторов. Зерновые культуры, относящиеся к разным семействам, отличаются не только соотношением питательных веществ, но и их составом и свойствами [1]. Зерновые культуры представляют собой самый крупный в мире источник белков. Их вклад составляет 57 % всех потребляемых белков, в то время как на клубневые и бобовые культуры приходится 23 % и 20 % на продукты животного происхождения (мясо, молочные продукты и т. д.). Заслуживает внимания также и тот факт, что их фактическая ценность довольно близка к потенциальной [2]. Поэтому всякое повышение содержания белков и увеличение доли в них критических и незаменимых аминокислот в результате селекционной работы или технологий возделывания является очень важным фактором увеличения их питательной ценности.

Аминокислоты содержатся во всех тканях растений. Они играют важную роль в обмене веществ, многие из них служат активаторами ферментов и витаминов. Состав аминокислот влияет на качество пищи (кормов). Их недостаток вызывает серьезные заболевания у людей и животных. Аминокислоты – конечный продукт расщепления белка в пищеварительном канале. Они служат структурным материалом для образования белков в теле человека и животных. Исследования показывают, что отсутствие или недостаток незаменимых аминокислот в пище приводит к нарушению обмена веществ (отрицательному азотному балансу), прекращению в организме регенерации белков, потере аппетита, патологическим изменениям в нервной системе, органах внутренней секреции, составе крови, ферментных системах и т. д. Суточная потребность человека в незаменимых аминокислотах (по данным Ф.М. Пруцкова, Покровского и др.) составляет (в г): лизина – 3–5,2, валина – 3,8–4, лейцина – 4–9, изолейцина – 3–4, метионина – 2–4, треонина – 2–3,5, триптофана – 1–1,1, фенилаланина – 2–4,4. Восемь аминокислот – валин, изолейцин, лейцин, лизин, метионин, треонин, триптофан и фенилаланин относятся к незаменимым и при отсутствии хотя бы одной из них синтез белка, а также белковых веществ невозможен [3–5]. Из них аминокислоты – лизин, метионин и триптофан – основные или критические, так как они лимитируют использование других аминокислот для синтеза молекулы белка [6].

Лизин входит в состав почти всех животных белков и очень важен для здоровья костей. Организм нуждается в этой аминокислоте для усвоения кальция и его доставки к костям. При низком содержании в кормах лизина замедляется

## 2. Плодородие почв и применение удобрений

рост животных. Лизин заслуживает внимания за участие в сохранении мышечной ткани, поддержании уровня энергии и здоровья сердца. К тому же он снабжает организм субстанциями для выработки аминокислоты карнитин, которая участвует в превращении жировых тканей в легкодоступное «топливо» для организма животного.

Метионин – это гликогенообразующая серосодержащая аминокислота, донор метильных групп. Участвует в процессах ферментативного метилирования, приводящих к образованию холина, адреналина и других биологически важных соединений. Отсутствие или недостаток метионина нарушает нормальную деятельность печени, витаминный обмен, деятельность некоторых желез внутренней секреции. Он также препятствует развитию атеросклероза [7].

Триптофан участвует в образовании никотиновой кислоты (витамина РР) и серотина. Его недостаток приводит к нарушению функций костного мозга и лимфоидной ткани, снижению в крови эритроцитов, лейкоцитов и тромбоцитов, к развитию пеллагры. Кроме того, при недостатке этой аминокислоты в кормах в организме происходят функциональные и органические расстройства [8–9]. Введение в рацион животного незаменимых аминокислот в достаточном количестве повышает использование других аминокислот в организме на 20–30 %, что позволяет обходиться без белков животного происхождения при том же ростовом эффекте, более экономно использовать растительные корма [6]. Литературные данные по содержанию аминокислот в зерне у авторов весьма разнятся в связи с различным сортовым составом и развитием методов исследования аминокислот [3, 4, 10, 11].

Цель наших исследований заключалась в оценке питательной ценности белка зерна возделываемых в республике озимых и яровых зерновых культур по составу незаменимых аминокислот.

### МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Определение содержания незаменимых аминокислот (лизин, треонин, валин, метионин, изолейцин, лейцин, фенилаланин) проводилось в лаборатории мониторинга плодородия почв и экологии на жидкостном хроматографе Agilent 1100 после предварительной подготовки проб методом гидролиза (6 рН соляная кислота,  $108 \pm 2$  °С в течение суток). Для оценки сходимости времен удерживания и площадей, а также предела детектирования и линейности использовали пять различных концентраций стандартов аминокислот: 10, 25, 50, 100 и 250 пмоль/мкл. Онлайн-дериватизация была выполнена с использованием ортофталевого альдегида (ОРА) для первичных аминокислот и 9-флуоренилметилхлорформата (ФМОС) для вторичных. Применяли 0,4 N боратный буфер с рН 10,4. Анализ аминокислот с использованием предколоночной онлайн-дериватизации выполняли при помощи флуоресцентного детектирования. Сходимость времен удерживания для флуоресцентного детектора ниже 0,2 %, сходимость площадей близка к 5 % [12].

Образцы зерна для анализа получены в научных подразделениях РУП «Институт почвоведения и агрохимии» в погодно-климатических условиях 2008–2012 гг. Пробы представлены районированными сортами, выращенными на различных почвенных разновидностях и уровнях применения минеральных удобрений. Для анализа использовали цельное зерно.

Стандартное отклонение (SD) и стандартная ошибка (SE) с уровнем надежности 95 % рассчитаны методом описательной статистики с использованием стандартного программного обеспечения (Microsoft® Excel 2003). Количество образцов (n), использованных для математической обработки, по каждой культуре представлено в таблицах 1 и 2.

Сумма критических аминокислот рассчитывалась по треонину, метионину и лизину. Расчеты сбора аминокислот с единицы площади проведены на основании статистических данных урожайности зерновых культур за 2008–2012 гг. в республике, опубликованных Национальным статистическим комитетом Республики Беларусь [13]. При расчетах учитывалась стандартная влажность зерна, полученного в производственных условиях, и влажность зерна, отобранного для анализа. Расчеты сбора аминокислот с единицы площади по голозерному овсу не проводились в связи с его низкой долей в производственных посевах.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для повышения кормовой ценности зерна важно не только увеличивать содержание белка, но и улучшать его аминокислотный состав, то есть сбалансированность по аминокислотам. Результаты химического анализа показали, что по удельному содержанию критических аминокислот озимые зерновые можно ранжировать по убыванию в следующем порядке (в г/кг): озимое тритикале (7,75) > озимая пшеница (7,03) > озимая рожь (6,75); незаменимых аминокислот: озимая пшеница (28,72) > озимое тритикале (26,92) > озимая рожь (24,81) (табл.1). По содержанию аминокислот треонина, валина и метионина зерно озимых практически равноценно, озимая пшеница больше синтезирует изолейцина и фенилаланина, озимое тритикале – лизина. В целом можно наблюдать значительное варьирование содержания каждой из аминокислот в выборке от их усредненных показателей.

Таблица 1

**Состав критических и незаменимых аминокислот в зерне озимых культур, г/кг на в.с.в.**

Показатель	Треонин	Валин	Метионин	Фенилаланин	Изолейцин	Лейцин	Лизин	Сумма критических аминокислот	Сумма незаменимых аминокислот
<i>Озимая рожь (n = 109)</i>									
Среднее	3,02	4,38	1,27	4,34	3,30	6,04	2,46	6,75	24,81
Минимум	2,14	3,05	0,79	2,71	2,52	4,29	2,00	–	–
Максимум	4,24	5,78	2,00	6,24	4,26	8,24	3,27	–	–
SE	0,049	0,052	0,024	0,067	0,034	0,074	0,027	–	–
SD	0,516	0,540	0,255	0,699	0,351	0,768	0,286	–	–
<i>Озимая пшеница (n = 61)</i>									
Среднее	3,06	4,98	1,35	4,91	4,19	7,62	2,61	7,03	28,72
Минимум	2,05	3,68	0,99	3,25	3,15	5,82	1,98	–	–

## 2. Плодородие почв и применение удобрений

Окончание табл. 1

Показатель	Треонин	Валин	Метионин	Фенилаланин	Изолейцин	Лейцин	Лизин	Сумма критических аминокислот	Сумма незаменимых аминокислот
Максимум	3,65	5,82	1,81	5,91	4,87	8,83	3,53	–	–
SE	0,034	0,050	0,022	0,057	0,043	0,065	0,062	–	–
SD	0,263	0,388	0,174	0,443	0,336	0,510	0,482	–	–
<b>Озимое тритикале (n = 383)</b>									
<b>Среднее</b>	<b>3,02</b>	<b>4,70</b>	<b>1,44</b>	<b>4,35</b>	<b>3,67</b>	<b>6,45</b>	<b>3,29</b>	<b>7,75</b>	<b>26,92</b>
Минимум	1,81	3,13	0,78	2,75	2,27	3,75	1,96	–	–
Максимум	4,11	5,86	2,41	5,80	4,90	8,72	5,58	–	–
SE	0,028	0,025	0,020	0,031	0,027	0,045	0,039	–	–
SD	0,557	0,497	0,389	0,597	0,526	0,883	0,772	–	–

По удельному содержанию критических аминокислот яровые зерновые можно ранжировать по убыванию в следующем порядке (в г/кг): овес голозерный (12,86) > ячмень (8,91) > яровая пшеница (8,18) > гречиха (7,76) > яровое тритикале (6,91) > овес (6,7) > просо (5,37); незаменимых аминокислот: овес голозерный (42,36) > ячмень (33,74) > просо (30,54) > яровая пшеница (30,03) > гречиха (25,98) > овес (25,89) > яровое тритикале (24,33) (табл. 2). Существенные различия в биологической ценности голозерного и пленчатого овса объясняются тем, что у последнего пленчатость может достигать 50 % и соответственно его биологическая ценность намного ниже. В значительной степени голозерный овес превосходит другие культуры по содержанию лизина и валина. Минимальное значение суммы критических аминокислот в зерне проса обусловлено концентрацией лизина ниже предела его обнаружения методом жидкостной хроматографии. Белок проса по сравнению с другими зерновыми богат лейцином, его содержание в семенах в среднем составило 11,48 г/кг при варьировании данного показателя 8,29–13,29 г/кг.

Таблица 2

### Состав критических и незаменимых аминокислот в зерне яровых культур, г/кг на в.с.в.

Показатель	Треонин	Валин	Метионин	Фенилаланин	Изолейцин	Лейцин	Лизин	Сумма критических аминокислот	Сумма незаменимых аминокислот
<b>Яровая пшеница (n = 337)</b>									
<b>Среднее</b>	<b>3,21</b>	<b>4,92</b>	<b>1,65</b>	<b>5,13</b>	<b>4,07</b>	<b>7,73</b>	<b>3,32</b>	<b>8,18</b>	<b>30,03</b>
Минимум	2,04	3,06	1,03	3,22	2,13	5,05	2,09	–	–
Максимум	4,83	7,04	2,84	7,48	6,43	10,36	5,91	–	–
SE	0,031	0,034	0,025	0,037	0,039	0,057	0,045	–	–

Показатель	Треонин	Валин	Метионин	Фенилаланин	Изолейцин	Лейцин	Лизин	Сумма критических аминокислот	Сумма незаменимых аминокислот
SD	0,564	0,618	0,468	0,685	0,711	1,051	0,819	–	–
<b>Яровое тритикале (n = 55)</b>									
<b>Среднее</b>	<b>2,62</b>	<b>4,39</b>	<b>1,17</b>	<b>3,95</b>	<b>3,23</b>	<b>5,85</b>	<b>3,12</b>	<b>6,91</b>	<b>24,33</b>
Минимум	1,79	3,31	0,83	2,44	1,99	4,09	1,88	–	–
Максимум	3,83	5,8	1,73	5,68	4,66	8,26	4,7	–	–
SE	0,085	0,103	0,038	0,128	0,109	0,170	0,102	–	–
SD	0,628	0,766	0,279	0,952	0,809	1,260	0,757	–	–
<b>Ячмень (n = 274)</b>									
<b>Среднее</b>	<b>3,71</b>	<b>6,04</b>	<b>1,79</b>	<b>6,12</b>	<b>4,48</b>	<b>8,20</b>	<b>3,40</b>	<b>8,91</b>	<b>33,74</b>
Минимум	2,14	3,89	0,85	3,61	2,65	5,25	2,00	–	–
Максимум	6,04	8,24	2,69	8,97	6,57	11,03	7,19	–	–
SE	0,045	0,056	0,023	0,071	0,044	0,074	0,071	–	–
SD	0,739	0,934	0,376	1,177	0,731	1,218	1,176	–	–
<b>Овес (n = 16)</b>									
<b>Среднее</b>	<b>3,04</b>	<b>4,84</b>	<b>1,23</b>	<b>4,37</b>	<b>3,49</b>	<b>6,49</b>	<b>2,43</b>	<b>6,70</b>	<b>25,89</b>
Минимум	2,82	4,53	1,10	3,96	3,26	5,91	2,14	–	–
Максимум	3,23	5,24	1,31	4,79	3,73	7,07	3,27	–	–
SE	0,028	0,048	0,016	0,055	0,034	0,074	0,083	–	–
SD	0,111	0,192	0,062	0,220	0,136	0,294	0,333	–	–
<b>Овес голозерный (n = 101)</b>									
<b>Среднее</b>	<b>5,15</b>	<b>7,25</b>	<b>2,78</b>	<b>6,79</b>	<b>5,31</b>	<b>10,15</b>	<b>4,93</b>	<b>12,86</b>	<b>42,36</b>
Минимум	2,71	4,87	1,44	4,36	3,31	6,85	2,96	–	–
Максимум	7,98	8,97	3,72	10,07	7,10	13,1	6,46	–	–
SE	0,120	0,086	0,054	0,096	0,083	0,134	0,085	–	–
SD	1,208	0,868	0,539	0,965	0,834	1,348	0,857	–	–
<b>Просо (n = 103)</b>									
<b>Среднее</b>	<b>2,92</b>	<b>4,57</b>	<b>2,45</b>	<b>5,10</b>	<b>4,02</b>	<b>11,48</b>	< ПО*	<b>5,37</b>	<b>30,54</b>
Минимум	2,00	2,40	1,55	3,92	3,08	8,29	< ПО*	–	–
Максимум	3,69	5,57	2,99	5,82	4,71	13,29	< ПО*	–	–
SE	0,033	0,050	0,040	0,039	0,023	0,097	–	–	–
SD	0,331	0,508	0,409	0,392	0,232	0,981	–	–	–
<b>Гречиха (n = 17)</b>									
<b>Среднее</b>	<b>3,37</b>	<b>4,76</b>	<b>1,50</b>	<b>4,03</b>	<b>3,26</b>	<b>6,16</b>	<b>2,90</b>	<b>7,76</b>	<b>25,98</b>
Минимум	3,06	4,44	1,15	3,67	3,00	5,68	2,16	–	–
Максимум	3,79	5,5	1,87	4,42	3,65	6,78	4,29	–	–
SE	0,048	0,073	0,048	0,062	0,045	0,079	0,130	–	–
SD	0,200	0,300	0,197	0,254	0,185	0,327	0,537	–	–

Примечание. Концентрация лизина ниже предела обнаружения (ПО) – 1,55 г/кг.

По удельному содержанию критических аминокислот озимые и яровые зерновые культуры можно ранжировать по убыванию в следующем порядке: овес голозерный > ячмень > яровая пшеница > гречиха > озимое тритикале > озимая пшеница > яровое тритикале > озимая рожь > пленчатый овес > просо; незаменимых аминокислот: овес голозерный > ячмень > просо > яровая пшеница >

## 2. Плодородие почв и применение удобрений

озимая пшеница > озимое тритикале > гречиха > пленчатый овес > озимая рожь > яровое тритикале. Различия средних по содержанию критических аминокислот в зерне составляют 2,4 раза, незаменимых – 1,7 раза. В анализируемой выборке максимальное содержание как критических, так и незаменимых аминокислот и соответственно питательная ценность отмечены у зерна ячменя.

Ячмень, с точки зрения кормовой культуры, содержит меньше пленок, чем овес (от 6 до 17 %), поэтому лучше переваривается животными. По сравнению с пленчатым овсом он более богат безазотистыми экстрактивными веществами (крахмалом) и содержит значительно меньше жира и клетчатки. В ячмене имеется весь набор незаменимых аминокислот, в том числе и таких дефицитных, как лизин и триптофан. В 1 кг ячменя нормальной влажности в среднем содержится (в г): сырого протеина – 116, в том числе белка – 108, сырого жира – 22, сырой клетчатки – 48, безазотистых экстрактивных веществ – 656, кальция – 1,23, фосфора – 3,3. Питательная ценность 1 кг сухого ячменя в среднем составляет 1,21 к.ед., 81 г – переваримого протеина, 20 – переваримого жира, 16 – переваримой клетчатки, 603 г – переваримых безазотистых экстрактивных веществ [3].

Для планирования и обоснования оптимальной структуры посевов, обеспечивающей сбалансированные и полноценные рационы кормления животных, необходимо учитывать не только биологическую ценность возделываемых культур, но и их продуктивность, которая влияет на выход продукции с единицы площади и валовые сборы.

Таблица 3

### Удельный выход критических и незаменимых аминокислот с урожаем зерновых культур, кг/га

Культура	Средняя урожайность по республике за 2008–2012 гг., ц/га	Сбор критических аминокислот, кг/га	Сбор незаменимых аминокислот, кг/га
Озимая рожь	25,70	15,6	57,4
Озимая пшеница	35,50	22,5	91,8
Яровая пшеница	32,78	24,1	88,6
Озимое тритикале	34,84	24,3	84,4
Яровое тритикале	28,98	18,0	63,5
Ячмень	32,84	26,3	99,7
Овес	30,52	18,4	71,1
Просо	21,38*	10,3	58,8
Гречиха	9,68	6,8	22,6

Примечание. Средняя урожайность проса за 2007–2011 гг.

По удельному выходу критических аминокислот с урожаем зерновые культуры можно ранжировать по убыванию в следующем порядке (в кг/га): ячмень (26,3) > озимое тритикале (24,3) > яровая пшеница (24,1) > озимая пшеница (22,5) > овес (18,4) > яровое тритикале (18,0) > озимая рожь (15,6) > просо (10,3) > гречиха (6,8); незаменимых аминокислот: ячмень (99,7) > озимая пшеница (91,8) > яровая пшеница (88,6) > озимое тритикале (84,4) > овес (71,1) > яровое тритикале (63,5) > просо (58,8) > озимая рожь (57,4) > гречиха (22,6) (табл. 3). Различия средних по удельному выходу критических аминокислот в зерне составляют 2,5 раза, незаменимых – 1,7 раза (без учета зерна гречихи).

### **ВЫВОДЫ**

В результате многолетних исследований аминокислотного состава зерна установлено, что по удельному содержанию критических аминокислот озимые и яровые зерновые культуры можно ранжировать по убыванию в следующем порядке (г/кг): овес голозерный (12,86) > ячмень (8,91) > яровая пшеница (8,18) > гречиха (7,76) > озимое тритикале (7,75 г/кг) > озимая пшеница (7,03) > яровое тритикале (6,91) > озимая рожь (6,75) > пленчатый овес (6,7) > просо (5,37); незаменимых аминокислот: овес голозерный (42,36) > ячмень (33,74) > просо (30,54) > яровая пшеница (30,03) > озимая пшеница (28,72) > озимое тритикале (26,92) > гречиха (25,98) > пленчатый овес (25,89) > озимая рожь (24,81) > яровое тритикале (24,33). Различия средних по удельному выходу критических аминокислот с урожаем зерна на 1 га составили до 2,5 раза, незаменимых – до 1,7 раза. Из исследуемых озимых и яровых зерновых культур максимальное содержание как критических, так и незаменимых аминокислот отмечено в зерне ячменя.

Полученные данные могут быть использованы для планирования и обоснования оптимальной структуры посевов, обеспечивающей сбалансированные и полноценные рационы кормления животных.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Трисвятский, Л.А. Хранение и технология сельскохозяйственных продуктов / Л.А. Трисвятский. – М.: Колос, 1983. – 390 с.
2. Растительный белок / пер. с французского В.Г. Долгополова; под ред. Т.П. Микулович. – М.: Агропромиздат. – 1991. – 684 с.
3. Плешков, Б.П. Биохимия сельскохозяйственных растений / Б.П. Плешков. – М.: Агропромиздат, 1987. – 494 с.
4. Казаков, Е.Д. Биохимия зерна и продуктов его переработки / Е.Д. Казаков, В.П. Кретович. – М.: Агропромиздат, 1989. – 368 с.
5. Биохимия / В.Г. Щербаков [и др.]. – М.: Колос, 2003. – 440 с.
6. Тюльдюков, В.А. Теория и практика луговодства / В.А. Тюльдюков. – М.: Росагропромиздат. – 1988. – 223 с.
7. Емельянова, Н.А. Белки семян и масличных культур / Н.А. Емельянова, А.Г. Тихонова. – М.: Колос, 1977. – 312 с.

## 2. Плодородие почв и применение удобрений

8. Беркутова, Н.С. Методы оценки и формирование качества зерна. – М.: Росагропромиздат. – 1991. – 206 с.
9. Крецу, Л.Г. Мир пищевых растений / Л.Г. Крецу, Л.Г. Домашенко, М.Д. Соколов; под. ред. А.Ф. Палия. – Кишинев, 1989. – 328 с.
10. Купцов, Н.С. Роль белка и его аминокислотный состав в основных зернофуражных культурах / Н.С. Купцов, В.Ч. Шор // Наше сельское хозяйство. – 2009. – № 5. – С. 8–13.
11. Кретович, В.Л. Биохимия зерна и хлеба / В.Л. Кретович. – М.: Наука, 1991. – 136 с.
12. Gratzfeld-Huesgen, A. Sensitive and Reliable Amino Acid Analysis in Protein Hydrolysates using the Agilent 1100 Series HPLC: Technical Note: Publication Number 5968–5658E / A. Gratzfeld-Huesgen // Agilent Technologies. – 1999. – 12 p.
13. Сельское хозяйство Республики Беларусь: стат. сб. / И.А. Костевич [и др.] // Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Минск, 2011. – 283 с.

### COMPARATIVE ANALYSIS OF COMPOSITION OF ESSENTIAL AMINO ACIDS IN BASIC PRODUCTION OF CEREALS

D.V. Markevich, Yu.V. Putyatin, O.M. Tavrykina

As a result of long-term investigation of amino acids composition (lysine, threonine, valine, methionine, isoleucine, leucine, phenylalanine) in grain it is established, that under the averaged specific contents of critical amino acids winter and spring cereals can be ranged on decrease in a following order, g/kg: baregrained oats (12,86) > barley (8,91) > spring wheat (8,18) > buckwheat (7,76) > winter triticale (7,75) > winter wheat (7,03) > spring triticale (6,91) > winter rye (6,75) > oats (6,7) > millet (5,37); essential amino acids: bare-grained oats (42,36) > barley (33,74) > millet (30,54) > spring wheat (30,03) > winter wheat (28,72) > winter triticale (26,92) > buckwheat (25,98) > oats (25,89) > winter rye (24,81) > spring triticale (24,33). Differences of averages on a specific yield of critical amino acids with grain on 1 hectare have been found up to 2,5 times, essential amino acids – up to 1,7 times.

*Поступила 05.04.13*